

Armando Pelliccioni

Relazione scientifica sui risultati dell'attività di ricerca:

Analisi dei flussi turbolenti di GAS serra in Artide

1. Introduzione

Nell'ambito della collaborazione tra il CNR-ISAC e il KOPRI, vi è l'argomento della comprensione della interazione dei gas serra fra la superficie e l'atmosfera. In tale ambito, un sistema di sensori è stato installato per la misura dei flussi turbolenti presso la Climate Change Tower (CCT) del CNR a Ny-Alesund-Svalbard a partire dal 2012. Tali misure sono previste che possano fornire i flussi di massa relativamente al metano, alla anidride carbonica (CO₂) e al vapor d'acqua (H₂O). In tale contesto, il KOPRI ha installato degli anemometri sonici e dei sensori di CO₂ e H₂O presso la stessa CCT gestita dal CNR ed ha espresso interesse per quanto riguarda la analisi dei flussi turbolenti dei livelli di concentrazione dei gas serra presso la CCT. In particolare, oltre ad operare una sintesi dei dati, il KOPRI ha notato che di frequente si verificavano delle anomalie di allineamento sia dei valori assoluti tra i due strumenti che della stima dei flussi di massa effettuata dallo stesso istituto. Mentre questa anomalia sul confronto sperimentale delle concentrazioni tra i due strumenti non è stata considerata rilevante ai fini scientifici, viceversa la anomalia verificata sui flussi turbolenti ha un significato molto più stringente oggetto del quale, è stato lo studio di questa attività.

Per inciso, tutte le elaborazioni mostrate in questa relazione derivano esclusivamente dallo scrivente, ivi comprese quelle dei flussi di massa. Nessuna elaborazione proveniente dal KOPRI è stata usata nello svolgimento dell'attività di ricerca.

2. Analisi preliminare dei dati

I dati a disposizione del KOPRI riguardano un anemometro sonico con frequenza di campionamento a 10Hz accoppiato con due misure di massa per la CO₂ e l'H₂O. Tali misure di massa, sono prese da due strumentazioni differenti: uno della Li-Cor (LI7500) ed un altro della Campbell (EC150), entrambi idonei alla misurazione delle concentrazioni in atmosfera e dei relativi flussi provenienti dalla metodologia della 'eddy covariance'. Tali strumenti sono posti vicini tra loro ed in prossimità dell'anemometro sonico ad una quota di 20.5. Le misure relative alla turbolenza partono dal 2011 fino ad oggi e quelle relative alle concentrazioni partono dallo stesso periodo, ma le elaborazioni più significative che saranno impiegati nel calcolo dei flussi turbolenti partiranno dal 2014 ad oggi. I dati forniti sono dati sotto forma di dati grezzi, proveniente direttamente dai sensori e riguardano dei periodi limitati strettamente connessi alle condizioni meteo (perciò frammentati dal punto di vista temporale). Il numero totale dei giorni presente nel DB è mostrato nella Tabella 1. Nel 2014, risultano un numero maggiore di 365 perché l'ultimo file inizia il 14 Novembre e, contenendo 86 giorni, comprende anche una quota di giorni del Gennaio 2015.

2011	2012	2013	2014	2015	2016
26	176	337	404 (**)	312	103
(**) L'ultimo file contiene dati di Gennaio 2015					

Tabella 1: Numero totale dei giorni di misure da sonico

2.1. Analisi dei dati grezzi dell'anemometro sonico e della concentrazione di CO₂ e H₂O per gli anni 2011-2012 e 2013

Come fase preparatoria e prima della elaborazione vera e propria sui flussi, si è concentrata l'attenzione sui trend temporali generici che ogni sequenza di dati produceva. Per quanto riguarda le misure di concentrazione, in questa fase si sono affiancati i dati del sonico con quelli di massa derivante solo dalla strumentazione della Li-Cor (LI7500). Tale scelta sarà giustificata successivamente. Questa analisi è stata condotta analizzando i trend temporali di tutti i grafici relativi alle misure. La analisi di questi grafici ha portato ai seguenti risultati:

1. L'anno 2011 non è adatto per fare delle elaborazioni più sofisticate, sia perché il segnale è molto discontinuo, sia per la quasi totale assenza di misure di CO₂ e H₂O.
2. I livelli di concentrazione di CO₂ sono spesso vicini o al di sotto della soglia scelta per visualizzare i dati (di 700 ppm). Si vedano ad esempio i grafici estivi del 2012.
3. La soglia di 800ppm per la CO₂ invece appare verosimile e ben centrata.
4. Per quanto riguarda l'H₂O, la scelta dell'intervallo fino a 15ppt risulta quella giusta.
5. Dai grafici si nota come in alcuni casi la CO₂ è anticorrelata con la presenza di vapore d' acqua. Si vedono questi episodi durante il mese di agosto del 2012 e gli estivi del 2013, dove però il segnale risulta disturbato. Da notare come queste correlazioni tra CO₂ e H₂O sono ben note in letteratura e, per lo scopo della ricerca, non rivestono interesse specifico.
6. Più in generale, non sembrano che ci siano delle correlazioni sistematiche tra la CO₂ e l'H₂O.
7. I livelli di anidride carbonica sono più alti durante i mesi autunnali e primaverili con valori di circa 750ppm per delle lunghe serie di giorni. Si notano inoltre dei periodi di valori di picco molto alti di 800ppm per alcune sequenze di giorni del 2013.

In definitiva, questa prima elaborazione ha permesso di capire l'ordine di grandezza delle misure di H₂O e della CO₂ (la cui soglia minima è stata portata da 700ppm a 650ppm), di rilevare l'importanza delle stagionalità ai fini dei valori medi misurati, e di mettere a punto il sistema automatizzato di lettura dei dati grezzi.

2.2. Valutazione della correzione denominata 'Tilt Correction' per dati dell'anemometro sonico dell'Artide.

Per quanto riguarda le misure dagli anemometri sonici, occorre porre molta attenzione ad un aspetto legato alla micro orografia locale del territorio che poteva influenzare il calcolo dei flussi di massa turbolenti. E' noto che le misure anemometriche per il calcolo dei flussi di massa devono verificare le condizioni di stazionarietà, di assenza di flussi turbolenti orizzontali e di velocità medie trascurabili della componente verticale del vento. Tutte queste condizioni vengono riassunte in due correzioni da apportare alle componenti di ciascuna misura anemologica dal sonico. Una è la cosiddetta 'Tilt Correction', il cui scopo è un allineamento con del sistema di coordinate con quelle del flusso dominante in modo da eliminare la componente verticale del vento. L'altra è di eseguire un controllo di qualità sui dati del sonico assicurandosi la verifica della stazionarietà. Quest'ultimo controllo può essere effettuato su tre criteri. Quello utilizzato in questa ricerca è il più sofisticato e si basa sulla variabilità dei flussi turbolenti usando medie temporali differenti. In appendice 1, sono mostrati i risultati di questo test di qualità andando a considerare i le singole componenti misurate dal sonico ed i flussi turbolenti per la CO₂ e la H₂O provenienti sia dal Campbell (ER150) che dal Li-Cor (LI7500). Si sono considerati due tempi di calcolo, uno di 5 minuti e il secondo di 30 minuti. Come sequenza campione, è stata considerato un periodo di circa 34 giorni nel mese di maggio del 2015 (file 'TOA5_DS_CCT_520R_34D').

I risultati di questo test sono stati i seguenti:

1. La Tilt Correction non produce dei risultati significativamente diversi nel calcolo dei flussi di massa. Si osserva (appendice 3) tuttavia una comparsa di una oscillazione attorno al dato 4000 per la media di 5 minuti e al dato di 600 per quella a 30 minuti. Tale oscillazione è dovuta ad una criticità della correzione che si verifica alle basse velocità, che produce delle oscillazioni numeriche.
2. La stazionarietà del dato è assicurata dalla scomparsa delle micro oscillazioni nel processo di media pesata passando da 5 a 30 minuti. La stazionarietà sembra una ottima approssimazione per i dati dell'Artide.

Questi due risultati, confermano quello che ci si aspettava (che l'orografia è essenzialmente piatta e i dati sono stazionari). Tuttavia occorre porre molta più cautela nel trascurare il riallineamento dei dati dell'anemometro sonico rispetto al problema della stazionarietà, soprattutto se si dovessero considerare quote degli anemometri più vicine al suolo. I dati che saranno utilizzati per il calcolo dei flussi di massa saranno effettuati su una media di 30 minuti.

2.2. Analisi dei dati di concentrazione di CO₂ e H₂O per gli anni 2014-2016: confronto dei valori tra le misure del Campbell e del Li-Cor.

Le elaborazioni svolte hanno portato a definire meglio i parametri di accettazione della validità del dato di concentrazione che sono riassunti nella seguente tabella:

$U-V_{lim}=\pm 60\text{m/s}$
$W_{lim}=\pm 5\text{m/s}$
$T_{lim_min}=-30^{\circ} - T_{lim_pos}=+15^{\circ};$
$CO2_{Lim_min}=650\text{ppm} - CO2_{Lim_max}=800\text{ppm};$
$H2O_{Lim}=\pm 15\text{ppt};$

Tabella 2: valori di riferimento per il calcolo dei flussi di massa

Tali valori sono il migliore compromesso per la selezione dei dati idonei al calcolo dei flussi di massa sulla base delle misure anemologiche e di concentrazione. Per finire questa prima fase preliminare, si sono studiati gli andamenti temporali per alcune sequenze concentrando solo negli anni 2014-2015 e 2016. Da premettere che una analisi completa e sistematica di tutti i dati nel triennio 2014-2016 era impossibile da effettuarsi visti i tempi stringenti. In più, per lo scopo della ricerca, non avrebbe aggiunto nulla di più rispetto a quanto dedotto.

Dallo studio sono stati dedotti i seguenti punti:

1. I livelli di anidride carbonica misurata dai due strumenti sono abbastanza differenti. Il Li-Cor misura circa 40ppm di più rispetto al Campbell.
2. Anche per il vapore d'acqua vale la stessa relazione, dove le differenze tra i due strumenti sono molto minori (circa 3ppt).
3. I livelli di concentrazione di CO₂ invernali sono relativamente maggiori rispetto a quelli estivi anche per il Campbell.
4. I trend temporali sembrano abbastanza ben correlati. Tuttavia, si evidenziano delle forti anomalie, soprattutto durante i mesi invernali.
5. I mesi invernali sono quelli che presentano il maggior numero di dati anomali (la presenza di 'righe nel grafici) e queste anomalie coincidono pressoché per entrambi gli strumenti. Questo significa che il dato è influenzato più dalle condizioni meteo locali (che mette fuori uso il sensore) piuttosto che da eventi legati alla strumentazione di per sé.

Al fine del confronto dei flussi turbolenti di CO₂ e H₂O, occorre estrarre delle sequenze abbastanza stazionarie di dati di meteorologia e di concentrazione in massa per garantire il pieno rispetto della regolarità

del dato. A tale scopo, sono stati ulteriormente selezionati tre mesi estivi, da giugno ad agosto 2015, come periodi ideali per poter estrarre le sequenze più appropriati di dati per l'analisi dei flussi turbolenti.

3. Analisi dei flussi turbolenti di CO₂ e H₂O

Nelle elaborazioni preliminari, sono emersi diversi punti critici: la stazionarietà dei dati, la continuità delle misure, la presenza di condizioni meteo estreme. Questi punti hanno comportato la selezione di un ristretto periodo sul quale eseguire la elaborazione dei flussi turbolenti. Come metodo di calcolo è stata usata il metodo della 'eddy covariance' per la determinazione dei flussi turbolenti di CO₂ e H₂O. Per una ristretta serie temporale, è stato applicato anche il metodo della 'eddy correlation'. Dal confronto, è emerso che i due metodi sono totalmente equivalenti e si è deciso di adoperare la 'eddy covariance' per il calcolo (che, tra l'altro, è il metodo maggiormente utilizzato nella ricerca).

Sulla base dei risultati del punto 2.1, i flussi turbolenti sono stati calcolati senza eseguire nessuna correzione al sistema di riferimento per quanto riguarda le componenti dell'anemometro sonico.

Per il calcolo, sono stati esaminati tre periodi estivi del 2015 (allegato 2a,b,c): dal 24 al 28 giugno, dal 22 al 26 luglio, dal 20 al 25 agosto (un periodo eccezionale di stazionarietà turbolenta). Per ogni periodo, sono calcolate i valori medi dei flussi di CO₂ e H₂O dal Campbell e dal Li-Cor su 30 minuti per un solo giorno. Subito dopo, per lo stesso giorno, sono stati calcolati i dati totali di 'NaN' (ossia non disponibili nella serie) per le stesse ore del giorno scelto. Benché i periodi scelti siano ideali per il calcolo dei flussi, si notano delle considerevoli differenze. Per quanto riguarda la CO₂, i due flussi raramente coincidono. Gli unici periodi dove le misure sono coincidenti sono dalle ore 15 alle 24 del 27 giugno, dalle 9 alle 24 del 21 luglio, dalle 6 alle 13 del 23 agosto, dalle 15 alle 24 del 24 agosto. Per i restanti giorni, i flussi turbolenti calcolati dai due strumenti sono abbastanza differenti. Per quanto riguarda il vapore d'acqua, i flussi misurati dai due strumenti vanno generalmente abbastanza bene, tranne che in alcuni casi (il 27 giugno, il 25 luglio, il 24 e 25 di agosto).

Trovare una spiegazione di queste differenze non è semplice. Una ipotesi potrebbe consistere che la CO₂ è maggiormente influenzata dalla presenza di 'NaN' (numero totale di dati non validi). E' da notare come non sempre la presenza di dati invalidi sia concomitante ai due strumenti (che implicherebbe la stessa causa di mancanza del dato, ad esempio un meteorologia estrema), così come è da sottolineare che non sempre la perfetta coerenza dei flussi di CO₂ tra i due strumenti avvenga in assenza di 'NaN' (come avviene per il dato dei giorni del 26 luglio o del 21 agosto).

4. Conclusioni

Lo scopo della elaborazione era di capire la attendibilità dei flussi turbolenti misurati in Artide dal KOPRI presso la torre CCT del CNR. Vista la mole dei dati da analizzare, si è proceduto ad una analisi sistematica solo in una prima fase, dove occorreva capire a grandi linee cosa misuravano i dati. Successivamente, si è proceduto ad un filtro dei dati sempre più stringente, fino ad identificare tre periodi di circa 5 giorni ognuno, nella estate del 2015, dove effettuare il confronto delle misure dei flussi.

Il risultato che è stato ottenuto non può essere messo in termini di una risposta definitiva sul confronto dei flussi turbolenti dal Campbell e dal Li-Cor. Mentre per la H₂O non ci sono particolari problematiche di dati non collimanti, se non raramente, per la CO₂ avviene esattamente l'opposto: raramente i flussi calcolati dai due strumenti coincidono.

In definitiva, questo studio può evidenziare più una linea di indirizzo dove occorre investigare che dare una risposta quantitativa al confronto. Dai dati, sembrerebbe che i due strumenti per la rilevazione della anidride carbonica abbiano alcune volte dei problemi e che spesso questi difetti non possono essere attribuiti ad una causa in comune (come una condizione micrometeorologica).

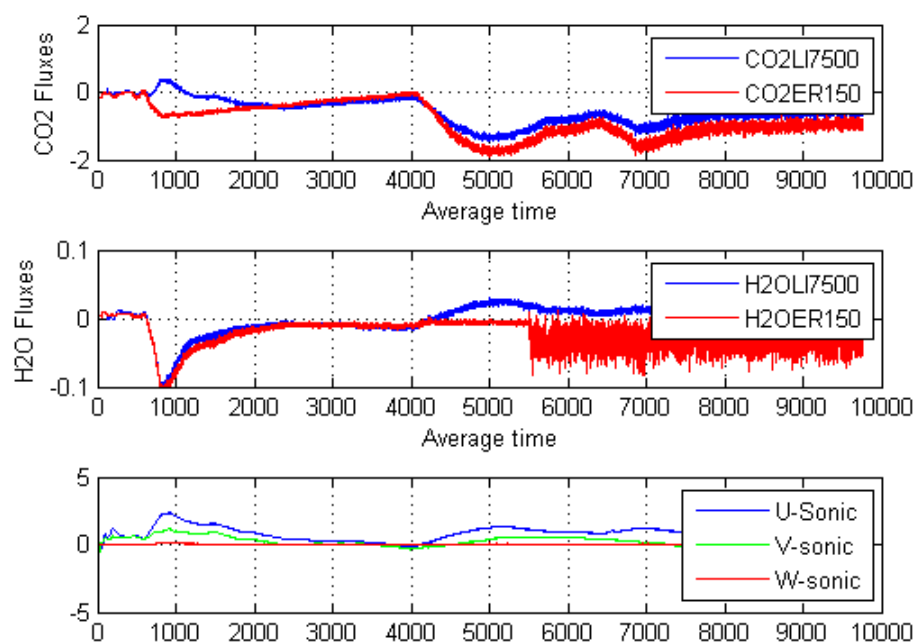
In conclusione, occorrerebbe investigare una mole maggiore di casi per capire se questi 16 giorni nei quali si sono calcolati i flussi siano rappresentativi di una problematica più ampia oppure, anch'essi, dovute a fluttuazioni statistiche della strumentazione.

Appendice 1: Verifica del controllo di qualità dei dati dal sonico e Tilt Correction

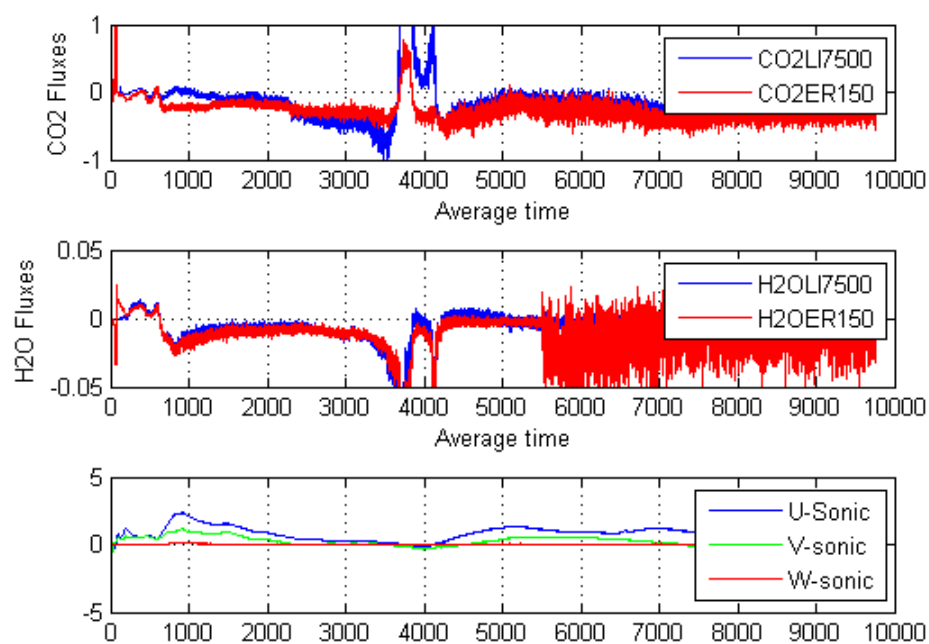
filename = 'TOA5_DS_CCT_520R_34D'

Average Time: 5 Minute

CO₂-H₂O fluxes without Rotation

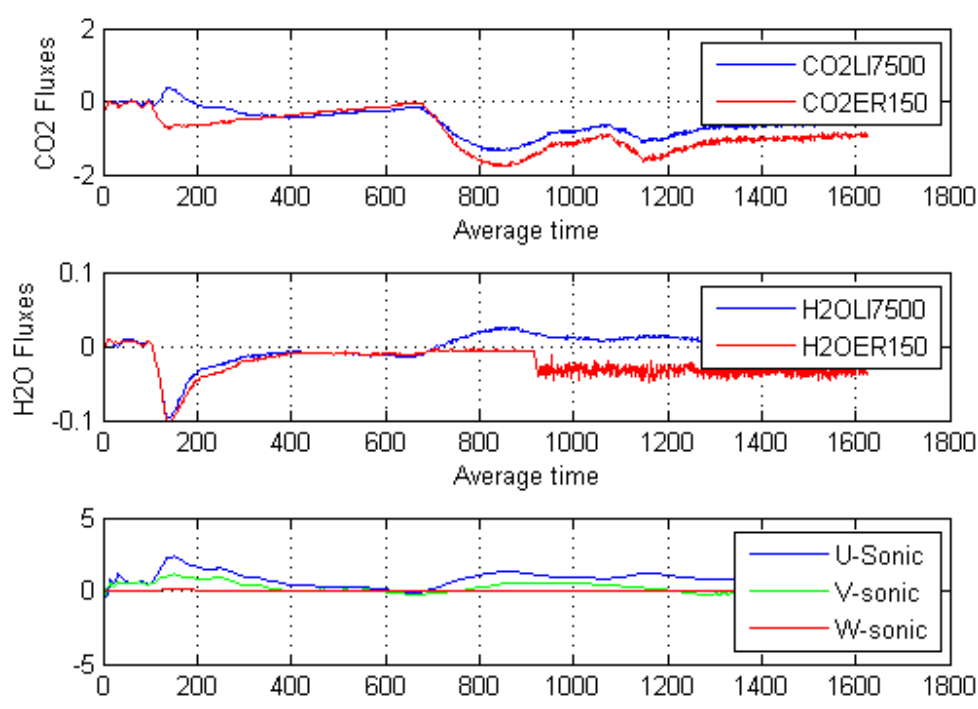


CO₂-H₂O fluxes With TILT Correction

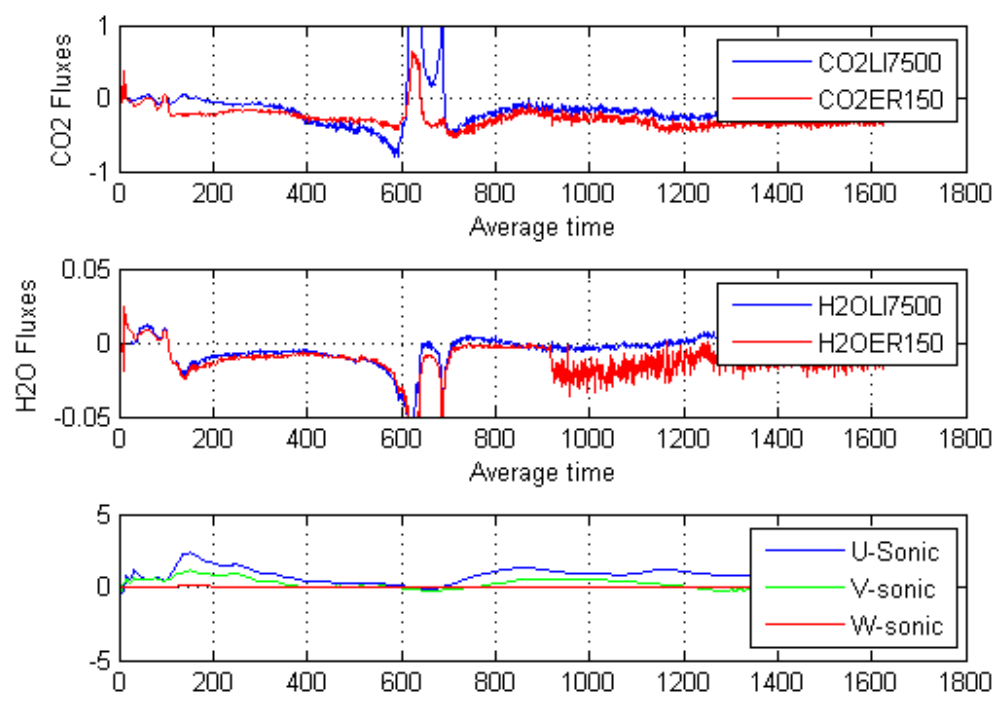


Average Time: 30 Minute

CO2-H2O fluxes without Rotation

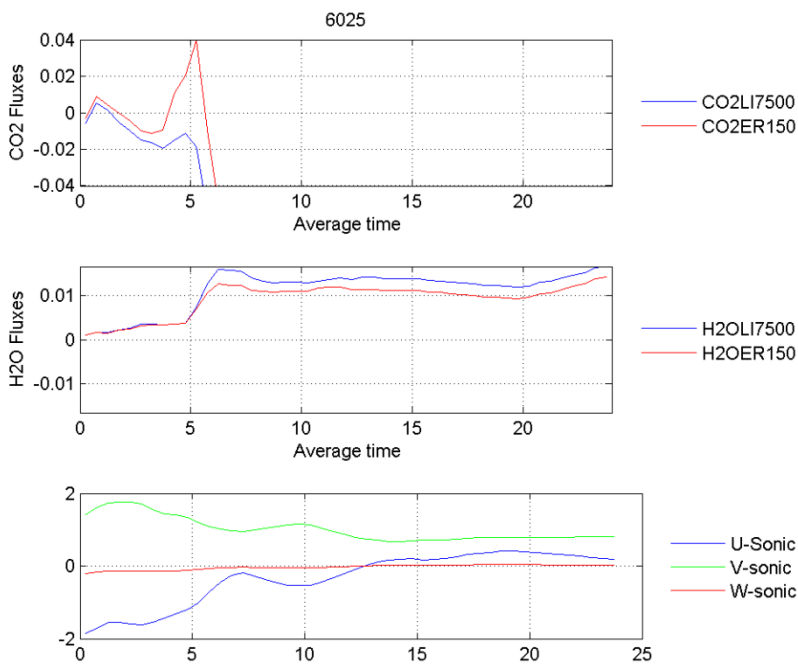
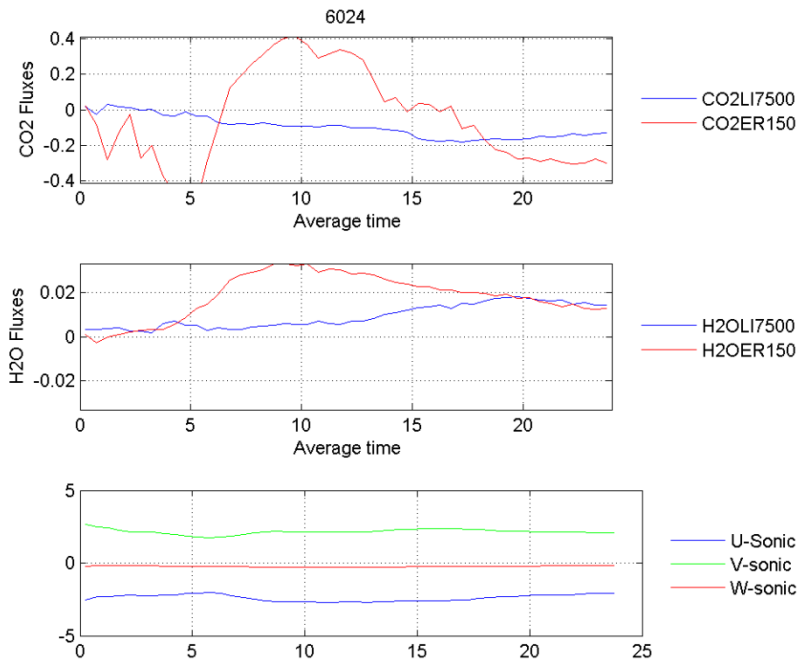


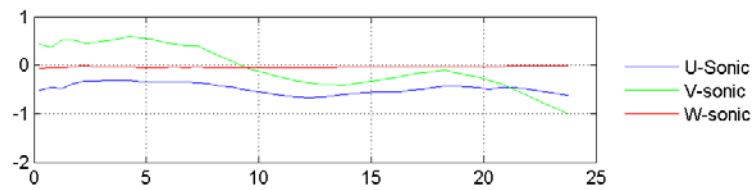
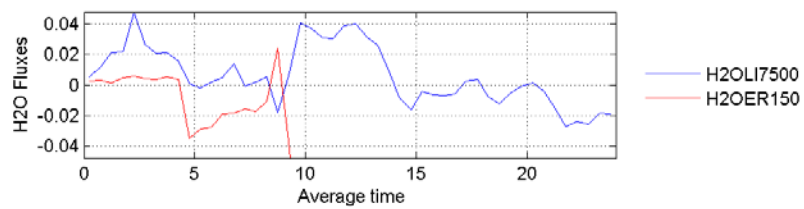
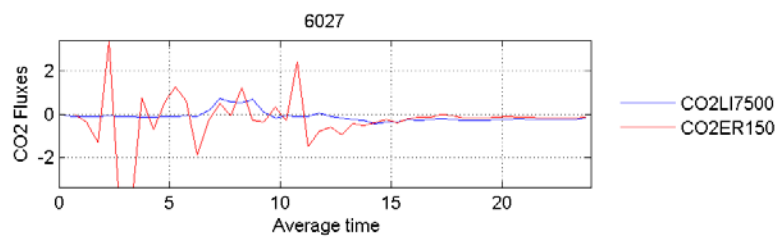
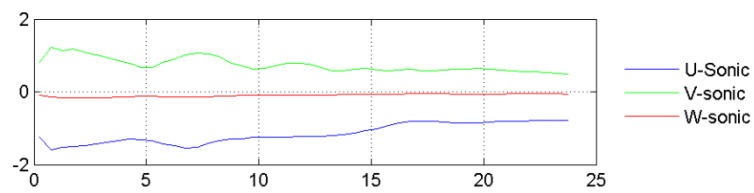
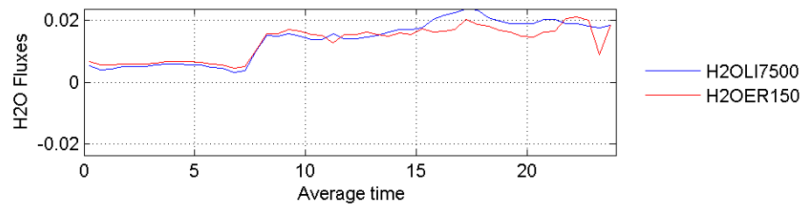
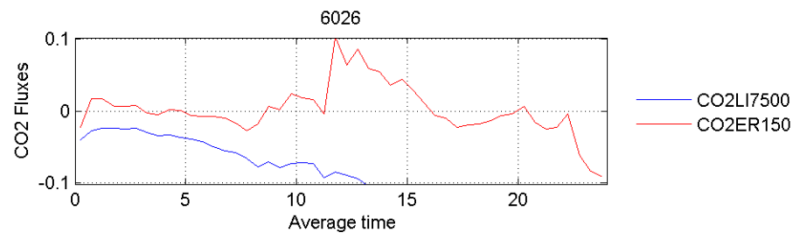
CO2-H2O fluxes With TILT Correction

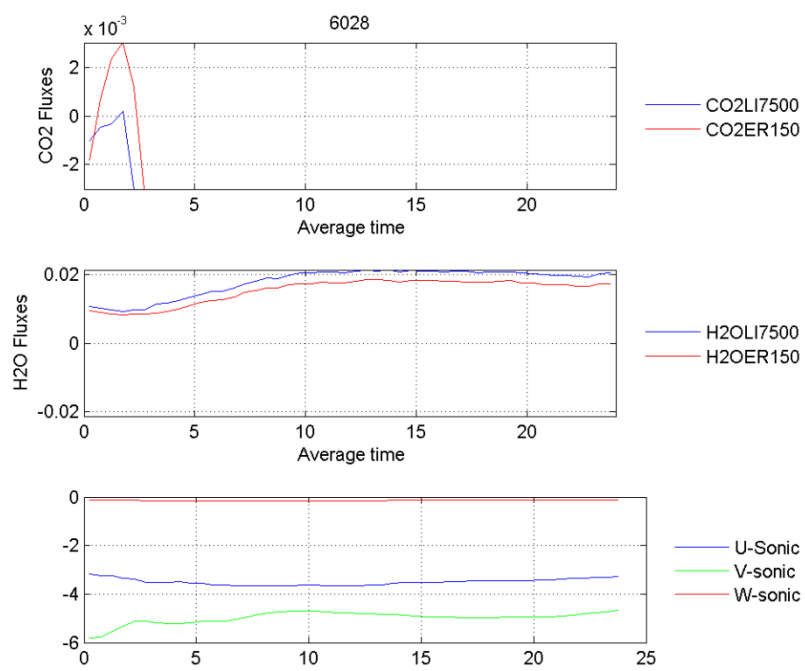


Appendice 2a: Calcolo dei flussi turbolenti di CO2 e H2O e misure delle componenti cartesiane del vento per il periodo di 24 al 28 giugno 2015

June (24-28)
2015

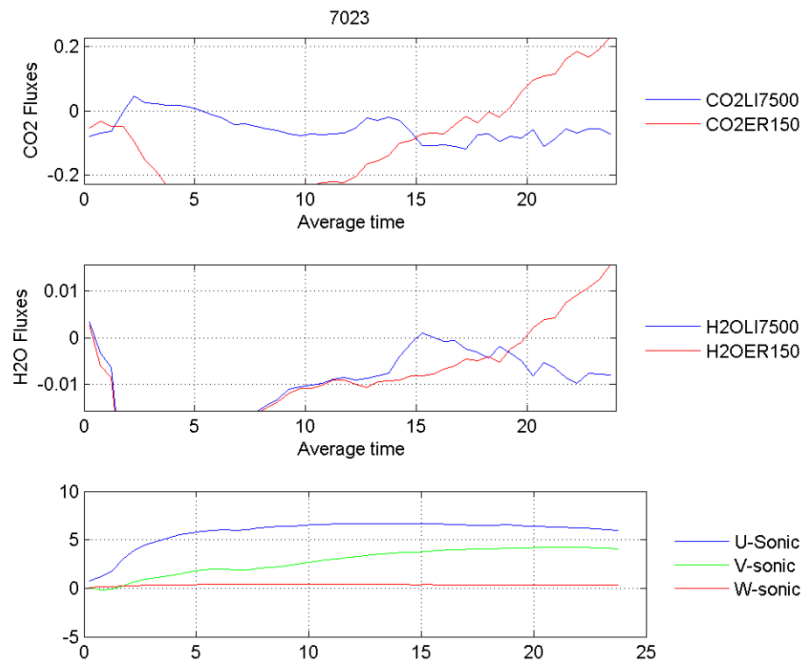
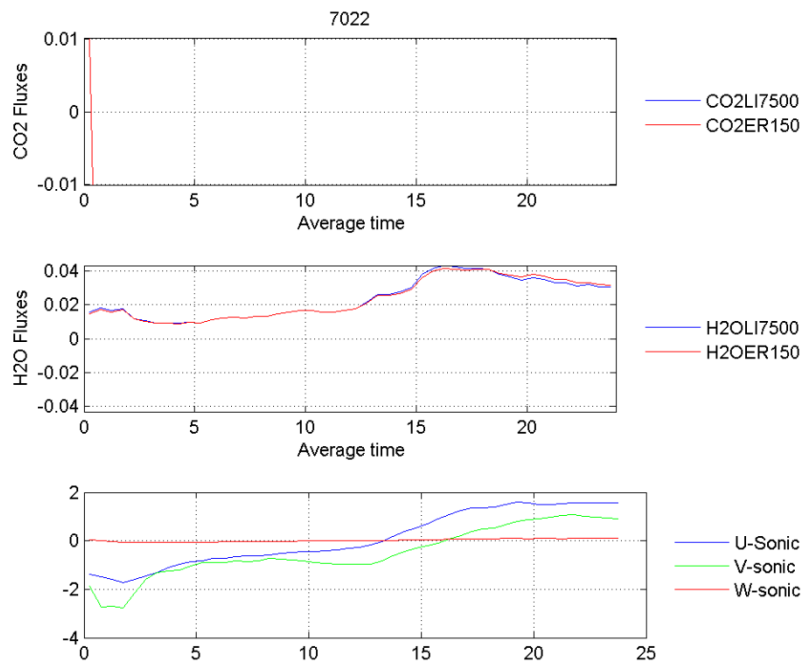


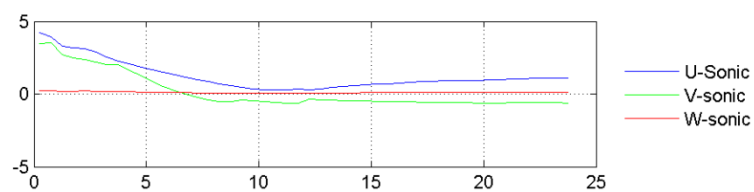
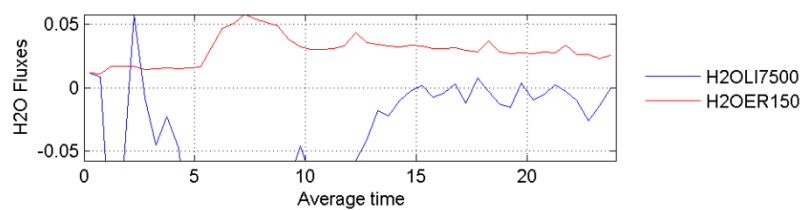
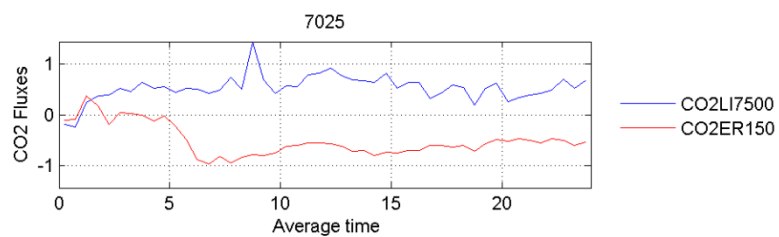
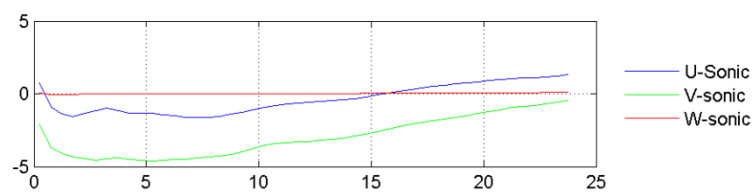
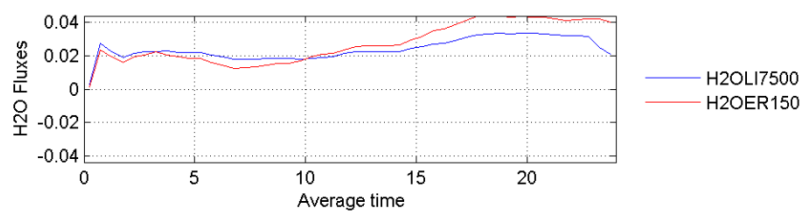
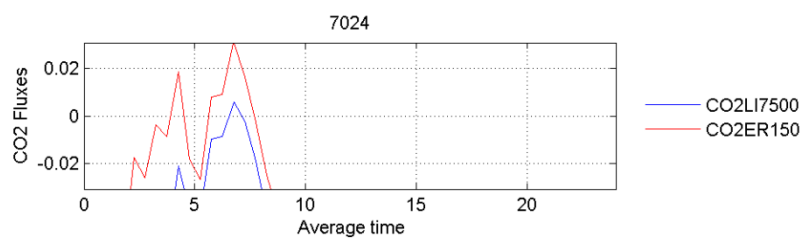


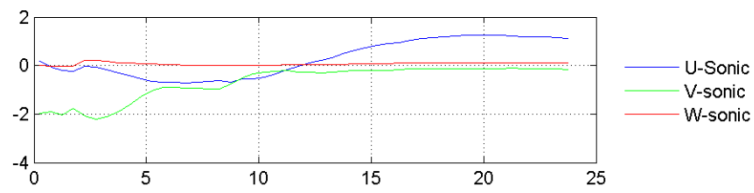
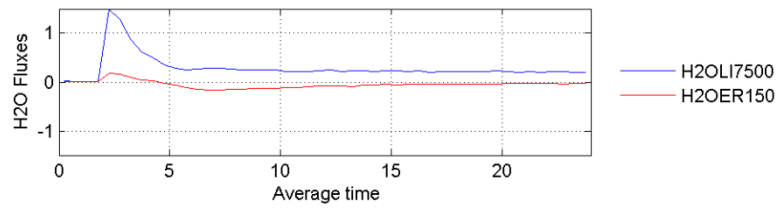
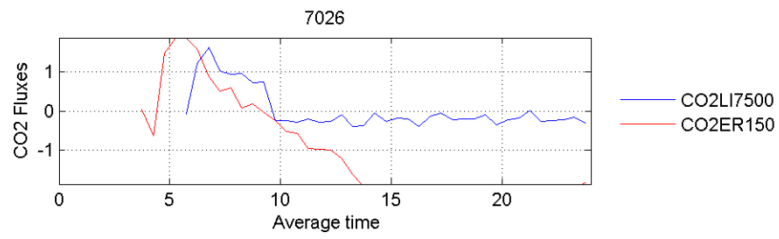


Appendice 2b: Calcolo dei flussi turbolenti di CO₂ e H₂O e misure delle componenti cartesiane del vento per il periodo di 22 al 26 Luglio 2015

July (22-26)
2015







Appendice 2c: Calcolo dei flussi turbolenti di CO₂ e H₂O e misure delle componenti cartesiane del vento per il periodo di 20 al 25 Agosto 2015

**August (20-25)
2015**

